

Publieke verantwoording overheidscontracten Standaardenbeheerovereenkomst en Research 2008

Algemeen

Groepen standaarden

In de Metrologiewet (2006) is opgenomen dat de Minister van Economische Zaken (EZ) "één in Nederland gevestigde instelling aanwijst die tot taak heeft zorg te dragen voor het verwezenlijken en beheren van de nationale meetstandaarden". Deze meetstandaarden dienen het openbaar belang en zijn relevant voor ondermeer eerlijke handel, wetenschap en industrie. VSL is door de Minister aangewezen als de instantie die verantwoordelijk is voor de uitvoering van deze taak.

Via een overeenkomst heeft VSL zich verplicht bovengenoemde standaarden met de daarbij behorende kalibratiefaciliteiten alsmede andere, nader overeen te komen standaarden met de eveneens daarbij behorende kalibratiefaciliteiten in stand te houden. De wijze waarop dit wordt uitgevoerd is omschreven in de jaarlijks af te sluiten StandaardenBeheerOvereenkomst (SBO). Deze nationale standaarden zijn meestal primaire en in een aantal gevallen secundaire realisaties van de bij de grootheid behorende SI-eenheid. De realisatie van meetstandaarden vindt plaats op de volgende gebieden:

- Chemie
- Elektriciteit (DC/LF en HF)
- Ioniserende straling
- Massa en gerelateerde grootheden
- Lengte
- Thermometrie
- Optica
- Tijd en Frequentie
- Volumetrie (lage en hoge druk gas, vloeistof)

Op basis van de beheerde standaarden worden kalibraties verricht en gecertificeerde referentiematerialen geleverd. De bijbehorende certificaten zijn internationaal erkend onder de CIPM (= Comité Internationale des Poids et Mesures) MRA (Mutual Recognition Arrangement). Dit is een overeenkomst van wederzijdse erkenning van nationale meetstandaarden en van de validiteit van kalibratie- en meetcertificaten die uitgegeven worden door nationale metrologische instituten. Op de BIPM Key Comparison Data Base (KCDB) website (<http://kcdb.bipm.org>) is een volledig overzicht beschikbaar van alle "Calibration and Measurement Capabilities" en alle referentiematerialen van VSL die onder de MRA erkend zijn.

Standaardenbeheer en researchsubsidie

De term "**Standaardenbeheer**" omvat een drietal activiteiten, te weten **Basisbeheer**, **Beheerontwikkeling** en **Key Comparisons**.

In het algemeen wordt onder **Basisbeheer** verstaan:

- i. het beheren en verwezenlijken van de betreffende standaarden op het huidige nauwkeurigheidsniveau,
- ii. het operationeel houden van de apparatuur die ingezet wordt bij het basisbeheer,
- iii. het in stand houden van het door RvA geaccrediteerde kwaliteitborgingssysteem op basis van de ISO/IEC 17025:2005 norm,
- iv. het onderhouden van de contacten binnen de Metrologische Infrastructuur.

Beheerontwikkeling omvat de volgende onderwerpen:

- i. ontwikkelingsprojecten rond bestaande standaarden die leiden tot bijv. een vooraf gedefinieerde verbetering in de meetonzekerheid, een verbetering in de efficiëntie van het basisbeheer van een standaard door automatisering van het meetproces, een uitbreiding van de range waarin kalibraties geleverd kunnen worden of de toevoeging van nieuwe componenten aan bestaande referentiematerialen, e.d.,
- ii. ontwikkelingsprojecten op basis van elders bekende technieken die leiden tot nieuwe standaarden die voorzien in een nationale behoefte ten einde te kunnen voldoen aan nieuwe (internationale) eisen,
- iii. het schrijven van procedures voor nieuwe standaarden, teneinde de resultaten van het beheerontwikkelingsprogramma vast te leggen in het kwaliteitsborgingsysteem.

Onder **Key Comparisons** worden de internationale vergelijkingen verstaan die gericht zijn op het aantonen van de vergelijkbaarheid van de Nederlandse nationale standaarden met de nationale standaarden van andere landen die de CIPM MRA hebben ondertekend. De Key Comparisons kunnen uitgevoerd worden onder de vlag van de CIPM en onder de vlag van de regionale metrologie-organisatie EURAMET.

Het meer fundamentele onderzoek dat gericht is op het ontwikkelen van nieuwe standaarden en nieuwe meetprincipes vindt plaats via de **Researchsubsidie**.

Publieke rapportages

Hieronder volgen de afzonderlijke rapportages over de activiteiten die in **2008** zijn uitgevoerd binnen alle vier de bovengenoemde programmaonderdelen.

De totale financiële omvang van de programma's bedroeg in 2008 € 7.473.496 voor het Standaardenbeheer en € 1.181.000 voor de Researchsubsidie (alle bedragen zijn excl. BTW).

Research

Lange afstandmeting met fasecoherente pulsen

In de eerste helft van 2008 is de laserbundel van de frequentiekam naar de 50 meter-bank geleid en is een meetbaar signaal tot 50 meter waargenomen. Daarnaast is er een model ontwikkeld voor het simuleren van de voortplanting van de lichtpuls in lucht, rekeninghoudend met de brekingsindex en dispersie van lucht. In de tweede helft van 2008 is de afstandmeting met de frequentiekam vergeleken met die van een conventionele interferometer door beide lasers simultaan de verplaatsing van de meetwagen te laten meten. Hierbij wordt voor afstanden tot 25 m een verschil van ongeveer 1 μm waargenomen. Beide meetmethodes komen dus zeer goed met elkaar overeen (relatief verschil van 4×10^{-8}); naar de oorzaak voor het verschil wordt nog gezocht. Daarnaast is aangetoond dat ook met een puls die eerst door een glasvezel is geleid afstandmetingen kunnen worden uitgevoerd, ondanks het feit dat de puls dan veel langer is dan de te behalen resolutie. In het kader van het Joint Research Project 3.1. 'Absolute long distance measurement in air', heeft een collega van CMI (zusterinstituut in Tsjechië) een bezoek aan VSL gebracht. Dit heeft geresulteerd in een aantal nieuwe ideeën en verbeteringen van de opstelling. Als vervolg op dit bezoek heeft een vergelijking plaatsgevonden van de modellen die bij VSL/TU Delft, CMI en INRIM (Italië) zijn ontwikkeld, waarbij is aangetoond dat deze modellen dezelfde resultaten opleveren.

Frequentiekam en fundamentele fysische constanten

Het belangrijkste resultaat van de eerste helft van 2008 is de meting van de $4s^2S_{1/2} - 4p^2P_{1/2}$ lijn in calciumionen met een nauwkeurigheid die een factor 30 beter is dan de beste eerder gemeten waarde. Deze meting is uitgevoerd aan lasergekoelde calciumionen (temperatuur ongeveer 1 K) met behulp van een aparte 'probelaser', waarvan de frequentie over de overgang werd gescand. In de tweede helft van 2008 is een andere overgang gemeten aan calciumionen, de $4s^2S_{1/2} - 4p^2P_{3/2}$ overgang bij 394 nm. In dit experiment is de overgangsfrequentie direct met de frequentiekam gemeten, dus zonder gebruik te maken van een hulplaser bij de juiste golflengte, zoals in het eerste experiment. Hierbij is een geavanceerde detectiemethode toegepast, waarbij gebruikgemaakt wordt van andere overgangen die een lange levensduur hebben (shelving-techniek). Met dit experiment is voor het eerst directe frequentiekamspectroscopie aan ionen aangetoond. Bovendien is de overgang een factor 100 nauwkeuriger gemeten dan de best bekende waarde tot nu toe. Eind 2008 is een artikel met deze resultaten ingediend ter publicatie. De metingen aan andere ionen zijn uitgesteld tot 2009. De redenen hiervoor zijn dat de nieuwe ionenval pas begin 2009 gereed is en dat bovenstaand experiment meer goede resultaten aan calciumionen kon opleveren.

Spectroscopische parameters van kleine moleculen in de gasfase

De cavity ringdown spiegels blijken ook voor golflengtes < 3000 nm geschikt te zijn (tenminste tot 2870 nm) waardoor vrijwel het hele golflengtegebied van de OPO (Optische Parametrische Oscillator) met één set spiegels wordt bestreken. De pomplaser van de OPO is diverse keren teruggestuurd voor reparatie (in totaal 3 maanden weg). Een aantal moleculen dat voor 2008 op het programma stond (o.a. propaan en pentaan) is door geschoven naar 2009, omdat hun spectra te weinig structuur hebben om met het huidige systeem specifiek te kunnen meten. Gebruik van een ander kristal in de OPO moet dit probleem oplossen. Een aantal later geplande moleculen (methanol & formaldehyde) is nu al gemeten.

Ethaan kan tot op < 1 ppb niveau gemeten worden, dit is ruim $10 \times$ beter dan met de FTIR spectrometer. Formaldehyde is dynamisch bereid in de range van 400 ppb tot 5 ppm. De detectielimiet voor formaldehyde is 20 ppb. Overeenkomst met een commercieel cilinder mengsel is goed. Methanol, dat een breed spectrum heeft, is toch specifiek en gevoelig (ppb niveau) gedetecteerd door alleen de smalle q-tak te meten. Waterspectra zijn gemeten, omdat het over bijna het hele golflengtebereik interfereert. Alle gemeten spectra stemmen goed overeen met de

PNNL-NIST database (Pacific Northwest National Laboratory & National Institute of Standards and Technology).

Voorstudie en realisatie van een primaire standaard voor cryogene vloeistofhoeveelheid

Na een late start moest in de tweede helft van 2008 een inhaalslag worden gepleegd. Zoals verwacht kon het project echter niet afgerond worden in 2008 en is er verlenging aangevraagd voor 2009. Alle kritische onderdelen zijn inmiddels besteld. Voor 2009 staan testen, evalueren en publiceren op het programma.

De belangrijkste resultaten van de tweede helft van 2008 zijn:

- Proces en instrumentatie diagrammen voltooid;
- Simulaties van het stromingsregime om de functionaliteitseisen aan de kritische onderdelen, die gekocht moeten worden, te identificeren;
- Voorbereidende testen op het gebied van de massabepaling zonder de flexibele slang van de cryostaat af te koppelen;
- Op basis van de informatie verkregen door de vorige drie punten zijn cryostaten, een cryogene pomp en kleppen besteld.

Picodrift en instrumentatie

Er is, voor een te realiseren picodriftmeter bij VSL, een onzekerheidsbudget opgesteld en een keuze gemaakt voor een opstelling volgens interferometrisch principe. Een eerste testversie van een dergelijke opstelling is gerealiseerd aan de TU Delft. De meting, invloed en beheersbaarheid van de omgevingscondities zijn onderzocht bij VSL. In experimentele situaties is met de Fabry-Perot interferometer sub-nm stabiliteit behaald. De resultaten van deze experimenten zijn toegevoegd aan bovengenoemd onzekerheidsbudget.

Het in de offerte vermelde, per december 2008, te bereiken resultaat van een gerealiseerde picodriftmeter is niet gehaald. De reden hiervan is dat productie van een aantal speciale optische elementen pas in september 2008 kon beginnen. Het zwaartepunt van de inzet van uren in dit project schuift daarmee op in de tijd en zal in het derde en vierde jaar liggen.

Contactloos en aantastend meten van nano- en microstructuren

De belangrijkste onzekerheidsbronnen van de contactgroep van de microCMM (CoördinatenMeetMachine)(F25) zijn in detail onderzocht. Ook is een aantal probe-oppervlak interacties gemodelleerd en gekwantificeerd voor de F25. Verschillende mogelijkheden om de karakterisatie van de probe te verbeteren zijn geanalyseerd.

Experimenten zijn uitgevoerd op schaaqbordstandaarden om de invloed van de belichtingsparameters te onderzoeken. Dit is gebeurd met de visionsystemen op de streepmaatmeetmachine en de F25-microCMM. Hierbij zijn de lichtbronnen van de vision-systemen tijdens de metingen aan het schaaqbord volledig gekarakteriseerd (lichtintensiteit, kleur en stabiliteit).

De resultaten verkregen met beide faciliteiten komen in enige mate overeen. Moeilijkheid daarbij is dat de effecten van de parameterinstellingen (zoals intensiteit, kleur, camera setting etc.) groot zijn, waardoor variaties in de orde van 2 μm mogelijk zijn.

Het vergelijk tussen beide kalibratiefaciliteiten toont aan dat er zeer veel effecten een rol spelen bij het meten met visionsystemen. Voor de kalibratie van 2-dimensionale schaaqbordstandaarden blijkt de F25 de meest geschikte faciliteit te zijn. Dit vanwege de mogelijkheid om de meeste van de kritische parameters: lichtinstellingen, camera-instellingen, beeldanalyse en belichtingsrichting, te kunnen controleren. Om deze reden zal in 2009 een SBO project worden uitgevoerd om dit te realiseren.

Bovenstaande werk is vastgelegd in het rapport "Contact and optical measurements of 3-dimensional micro-objects".

Het NANOMEFOS project dat VSL gezamenlijk heeft uitgevoerd met TU Eindhoven en TNO is afgerond. Het VSL heeft hierbij de herleidbaarheid onderzocht. In het bijzonder is de

herleidbaarheid van de differentiële confocale contactloze probe van de NANOMEFOS machine gerealiseerd.

De voorstudie is succesvol uitgevoerd en alle doelen zijn gerealiseerd. Als uitvloeisel zal een project met een beperktere doelstelling onder SBO worden uitgevoerd. Verder zijn de verkregen resultaten uit de metingen met de visionsystemen aan de schaakbord-standaarden zeer nuttig gebleken voor het SBO project Streepmaatmeting.

Nieuwe generatie pulse-driven Josephsonstandaard

Met de VSL pulsgenerator (aangepaste Sympuls BMG-64M) is in april 2008 een week bij NIST gemeten. De focus lag op het optimaliseren van marges in de aanstuurparameters zonder dat de gegenereerde Josephsonspanning verandert (m.a.w. hoe goed is het echte "quantumgedrag" van de opstelling). De resultaten hebben geleid tot een lezing op de CPEM conferentie in juni in Colorado, USA, en tot een gezamenlijk artikel dat is geaccepteerd voor publicatie in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 58 (2009).

Inmiddels is een 250 mV array met probe van NIST aangeschaft en zijn op vergelijkbare manier precisiemetingen uitgevoerd. Een reeks van metingen tot 100 mV en van 1 kHz tot 50 kHz is uitgevoerd aan een secundaire wisselspanningsstandaard (Fluke 5790). De metingen vielen voor het grootste deel binnen de onzekerheid van de secundaire standaard; afwijkingen moeten nog onderzocht worden. Het instellen van het array is grotendeels geautomatiseerd.

Door zonder het array met pulsen aan te sturen de overdracht te meten tussen ingang en uitgang konden we de belangrijkste term in de onzekerheidsbijdrage bepalen bij frequenties tot 1 MHz, tot waar de opstelling uiteindelijk moet werken.

Geabsorbeerde dosis in water voor brachytherapie "low energy photons"

In 2007 is bij de sectie IO een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de mogelijkheid om direct de geabsorbeerde dosis in water voor ^{125}I zaadjes te kunnen bepalen. In 2008 is als vervolgstap op deze theoretische studie een researchproject gestart met als doel het realiseren van een primaire standaard voor ^{125}I seeds waarmee direct de geabsorbeerde dosis in water (D_w) kan worden gemeten.

De behaalde resultaten in 2008 zijn:

- ontwerp en vervaardiging van de coaxiale extrapolatie ionisatiekamer
- karakterisering van de dimensionale gegevens
- getest extrapolatieprincipe

Alles in één

Het project is afgerond en heeft geresulteerd in een meetmethode voor het verkrijgen van een responsiviteitsschaal op één enkele detector voor een groot golflengtebereik van het ultraviolet tot het infrarood. De detector kan gebruikt worden voor het leveren van herleidbaarheid waar deze grote golflengtespan gevraagd is (o.a. aardobservatie systemen). Na volledige kalibratie van de alles-in-één detector wordt deze ingezet voor vergelijk met LNE, het Franse standaardeninstituut, met het oog op een publicatie.

Herleidbaarheid voor complexe 3D metingen op nanometerniveau

Het Researchproject Complex 3D was gepland om halverwege 2008 van start te gaan, na afronding van het SBO ontwikkelingsproject micro-CMM, dat gebruik maakt van dezelfde faciliteit en medewerkers. Door problemen met de F25 micro-CMM, na een update, heeft de start van het Researchproject echter aanzienlijke vertraging opgelopen. Uiteindelijk waren halverwege november de problemen aan de F25 verholpen, maar konden niet meer alle doelen worden gehaald.

In de resterende tijd is een begin gemaakt met het onderzoek naar het scangedrag. Het onderzoek naar vrije vorm meting is verplaatst naar 2009. Er is een kalibratie artefact gekocht, om de status van de F25 efficiënt te kunnen monitoren en toekomstige problemen eerder te kunnen identificeren. Door de beschikbaarheid van een geschikt commercieel verkrijgbaar artefact was het

niet noodzakelijk zelf een artefact te ontwikkelen. Op het vlak van de dataverwerking is alvast vooruit gewerkt aan de ontwikkeling van fitmethoden. Hieraan kon gewerkt worden ook zonder dat experimentele resultaten beschikbaar waren. Er is een eenvoudig model van de F25 opgesteld en er zijn factoren geïdentificeerd die daaraan moeten worden toegevoegd om dynamisch gedrag te modelleren. Dit werk zal in 2009 worden voortgezet.

Vermeld dient ook te worden dat er een samenwerking is gestart met een drietal andere nationale meetinstituten die beschikken over micro-CMMs (NPL(UK), PTB (Du) en Metas (Zwitserland). Binnen dit samenwerkingsverband zal kennis worden uitgewisseld en zullen onderlinge vergelijken worden georganiseerd.

Distributed Temperature Systems

In het eerste jaar is een meetopstelling gerealiseerd voor het kalibreren en testen van DTS systemen. Op basis van experimenten en literatuurstudie is kennis en ervaring vergaard met het aangeschafte DTS systeem en ook met andere (typen) DTS systemen. Op basis hiervan en intensieve contacten met alle DTS stakeholders (fabrikanten, gebruikers en systeemintegratoren) begint een beeld te ontstaan van de behoeften. Hieruit blijkt dat op dit moment de uitdagingen op het gebied van engineering en de bepaling van de performance (karakterisering) van DTS systemen zwaarder wegen dan de behoefte aan kalibratie. Met name op het gebied van karakterisering van DTS systemen kan VSL van betekenis zijn als onafhankelijke en zeer bekwame partij en VSL is dan ook bezig zich als zodanig te profileren. Ons wetenschappelijk profiel wordt vooral bepaald door verrichting van onderzoek naar de ruiseigenschappen van DTS systemen. De eerste serie metingen is reeds uitgevoerd en ook de implementatie van de analysemethode (Allanvariantie-analyse) is gaande.

Probe-surface interactions in SPM

Het onderzoek naar de eigenschappen van fiber-top cantilevers voor een nieuw tastersysteem is gestart. De positiecontroller voor het huidige systeem is met de hulp van TU Eindhoven ontwikkeld. Er zijn extra uren besteed aan het oplossen van technische problemen met de hardware van de besturingselektronica en het meetsysteem. De bestaande besturingshardware is uiteindelijk grotendeels vervangen. De werkzaamheden aan de virtuele SPM zijn voornamelijk uitgevoerd in de eerste helft van 2008.

De voortgang van het project is d.m.v. voordrachten, posters en publicaties gepresenteerd op nationale en internationale conferenties.

SBO Basisbeheer en Beheerontwikkeling

Chemie

Zoals gebruikelijk is in het voorjaar het overleg over de CMC claims binnen Euromet (Metchem) gevoerd en over de key comparisons binnen de CCQM. Verder heeft VSL de komende jaren via ISO/REMCO een vertegenwoordiger in de werkgroep die aan de GUM (*Guide to the expression of uncertainty*) werkt.

In het eerste deel van 2008 is de opstelling voor de zuiverheidsanalyse van vloeibare organische verbindingen door middel van adiabatische calorimetrie gereedgekomen. De resultaten van de validatie zijn tot op heden bevredigend. Hiermee is een belangrijke stap gezet op weg naar het routinematig gebruik van deze opstelling. Helaas kon het experimentele programma niet worden afgerond vanwege een defect in de cryostaat. Verder is in het project "Spectroscopische meetfaciliteit voor gasanalyse op sporenniveau" de opstelling, die gebouwd was bij de Radboud Universiteit Nijmegen, verhuisd naar Delft en inmiddels operationeel. De eerste validatieresultaten met methaan voldoen aan de hooggespannen verwachtingen, vooral wat betreft de detectielimiet (beneden 1 nmol/mol).

Tenslotte is er nog een faciliteit voor de gravimetrische bereiding van vloeistofmengsels van koolwaterstoffen (o.a. LPG en butaan) gereedgekomen. De meetonzekerheid van de analyse is heel behoorlijk, circa 1-2% relatief, maar laat nog wat te wensen over. Desondanks kan VSL nu al de raffinaderijen van referentiematerialen, herleidbare metingen en kalibraties voorzien en komt daarmee tegemoet aan een belangrijke behoefte van deze sector.

Elektriciteit

DC en Laagfrequent

Basisbeheer van de DC en LF grootheden betreft met name de (primaire) opstellingen voor spanning en weerstand, impedantie, wisselspanning en -stroom (AV/DV c.q. AC/DC) en laagfrequent vermogen. De activiteiten omvatten het operationeel houden van de diverse meetopstellingen, cryogene opstellingen, oliebaden en meetbruggen, het kalibreren van (rand)apparatuur en het herleidbaar maken van de referentiestandaarden t.b.v. de Nederlandse industrie. Het basisbeheer is vrijwel volgens planning verlopen. De achterstand in het up-to-date houden van de kwaliteitsdocumenten is grotendeels ingelopen. Een RvA audit is uitgevoerd; de gevonden afwijkingen zijn verholpen en kwaliteitsprocedures zijn aangepast.

De meest prominente ontwikkelingen in de marktvaart naar DC elektrische metingen hebben samen met internationale ontwikkelingen geleid tot een programma voor beheerontwikkeling. Het Kleine Stroom project, het Binair Josephson project en het Power project zijn onderdeel van een researchproject binnen het ERANET+ programma. De beheerontwikkelingsprojecten zijn grotendeels volgens planning verlopen. Enkele mooie resultaten van deelprojecten:

- frequentieafhankelijkheid van luchtcapaciteiten: presentatie bij CPEM en een artikel
- werkende kleine-stroom-CCC: presentatie bij CPEM en een artikel
- link gelegd tussen capaciteit en Quantum Hall: presentatie bij CPEM
- sampling voltmeter gemeten met binair Josephson: presentatie bij CPEM en een artikel.

Hoogfrequent

Het beheer bij de RF&MW faciliteiten heeft zich ook in 2008 beperkt tot het uitvoeren van interne controles op de waarden van referentiestandaarden. Het beheer van de faciliteiten voor elektromagnetische velden is uitgevoerd volgens planning.

In het ontwikkelingsprogramma is grote vooruitgang geboekt, mede dankzij het feit dat er deelgenomen wordt in een Europees ERANET+ project op het gebied van Specifieke Absorptie Ratio (SAR) dat in april 2008 is opgestart. De activiteiten van VSL binnen dit project komen zo goed als volledig overeen met die van het SBO-programma.

Het meest aansprekende resultaat in 2008 is de realisatie van een opstelling voor het meten van de diëlektrische eigenschappen van vloeistoffen (er was alleen een haalbaarheidsstudie gepland).

De eerste metingen met deze opstelling aan een referentievloeistof leiden al tot resultaten die binnen de meetonzekerheid overeenkomen met referentiedata van NPL(UK).

Ioniserende straling

In het kader van de voorgenomen verschuiving van basisbeheer naar beheerontwikkeling, zijn dit jaar voor het basisbeheer, zowel voor de standaarden voor röntgenstraling als de standaarden voor gammastraling, minder uren beschikbaar dan voorgaande jaren. Het aantal te beheren opstellingen is wel gelijk gebleven en de urenreductie is vooral gevonden doordat reguliere (standaard)metingen, die tijdens kalibraties uitgevoerd worden, als beheermetingen worden benut. Dit vergt wel de ontwikkeling van een softwarepakket, zodat deze informatie gestructureerd beschikbaar komt. De ontwikkeling van deze software is reeds gedeeltelijk af en er wordt al mee gewerkt. In 2009 zal de software ontwikkeling en implementatie verder voortgezet worden.

Het ontwikkelingsprogramma van Ioniserende Straling is gefocuseerd op de realisatie van standaarden die direct de geabsorbeerde dosis in water kunnen realiseren. In 2008 zijn hiertoe 2 projecten opgestart.

Het eerste ontwikkelingsprogramma is het bepalen van de geabsorbeerde dosis in water voor HDR (high dose rate) ^{192}Ir brachytherapy bronnen. Hiervoor is gewerkt aan de ontwikkeling van een watercalorimeter, waarbij met een afterloader de bronnen via een katheter op de juiste positie in de calorimeter geplaatst kan worden en direct het dosistempo op 1 cm van de bron in water bepaald kan worden. Het grote probleem is dat dan niet alleen de temperatuurstijging van het water t.g.v. de ^{192}Ir -fotonen gemeten wordt, maar ook de warmte uitstraling van de bron zelf t.g.v. het radioactief proces intern in de bron. Om dit proces te kwantificeren zijn temperatuursimulatie-berekeningen uitgevoerd. Uit deze simulaties is gebleken, dat het mogelijk is d.m.v. heatsinks de warmtestromen t.g.v. de fotonenstraling en het radioactiefvalproces te scheiden. Tevens zijn met Monte-Carlo de invloeden van de heatsinks op de fotonenverzwakking bepaald.

Het tweede ontwikkelingsprogramma betreft 3D dosimetrie voor complexe stralingsvelden, t.b.v. benchmarking of treatment planning systems (TPS). Als meest geschikte detector hiervoor is radiochromic film gekozen. Naast het bestuderen van het gedrag van radiochromic film in complexe stralingsvelden, waarbij richtingsafhankelijkheid, de afwezigheid van elektronen-evenwicht en energieafhankelijkheid belangrijke eigenschappen zijn, zijn ook de karakteristieken van de flatbed scanner, zoals de invloed van scatter, bestudeerd en gekarakteriseerd. Tevens is een homogeen torsofantoom met filmhouder ontwikkeld en gemaakt. Daarnaast is begonnen met metingen voor het bepalen van de film dosisrespons voor homogene en inhomogene velden.

Massa en druk

De afdeling MDKV verzorgt herleidbaarheid op het gebied van massa, druk, kracht en viscositeit. Met uitzondering van druk, voldoen de onzekerheden aan de behoeften van de industrie. Wel kan er aan de efficiëntie van de druk- en viscositeitsmetingen nog veel verbeterd worden, hiertoe zijn in 2008 twee ontwikkelingsprojecten gestart. Voor viscositeit is een automatisch spoelsysteem gemaakt om viscosimeters efficiënter te kunnen schoonmaken. Door vertraging bij de oplevering kon het spoelsysteem niet getest en gevalideerd worden, in plaats daarvan is een begin gemaakt met een nieuw kloksysteem waarmee de doorlooptijden zo automatisch mogelijk in de software verwerkt worden. Bij druk is een begin gemaakt met het automatisch verwerken van de meetresultaten om tijd te besparen en om de kans op menselijke fouten te minimaliseren. Daarnaast zijn alle piston-cilinder-combinaties (PCCs) gekalibreerd en geanalyseerd i.v.m. de wens tot lagere onzekerheden.

In 2007 werd een te groot verschil gevonden tussen handmatige en automatisch massametingen aan drukschijven. Om de oorzaak hiervan te achterhalen zijn in 2008 de temperatuurgradiënten in de weegrobots gemeten. Zonder extra afscherming blijken er aanzienlijke gradiënten te zijn die tot een meetbaar convectie-effect leiden. Er zijn aanbevelingen opgesteld om de kans op het optreden van dit effect te minimaliseren. De handmatige schijfmetingen zijn herhaald met een speciale houder om de schijf in horizontale stand te meten, daar blijkt uit dat convectie een grote rol speelt.

Het gemeenschappelijk ontwikkelingsproject 'weegrobot' met de afdeling Chemie is vervolgd en de injectiespuitrobot is niet alleen ontworpen, maar ook al gerealiseerd en deels getest.

Het beheer voor Massa, Druk, Kracht en viscositeit is conform de planning afgerond. Er zijn geen ernstige afwijkingen gevonden, wel zal i.v.m. de waargenomen drift de kalibratietermijn van PCCs van 5 jaar naar 3 jaar worden teruggezet. De ontwikkelingsprojecten lopen door in 2009.

Lengte

De basisfaciliteit Lengte omvat de deelgebieden nanometrologie, geometrie, eindmaten, optische frequentiestandaarden en dynamische lengtemetingen. Op een aantal deelgebieden vinden ontwikkelingsprojecten plaats, waarmee invulling wordt gegeven aan het speerpunt nanometrologie. Algemeen doel van het basisbeheer en beheerontwikkeling is om de standaarden en opstellingen in kalibratiestatus en up-to-date te houden, alsmede aan te sluiten bij de vraag vanuit de markt en bij de internationale metrologische ontwikkelingen in bovengenoemde deelgebieden.

Het basisbeheer is conform planning uitgevoerd en nagenoeg alle doelen zijn gerealiseerd. Er is wel een achterstand ontstaan bij de interne kalibraties van de eindmaten, die in 2009 zal worden ingelopen.

Ontwikkelingsprojecten in 2008 waren rondheid, automatisering, microCMM, streepmaatmeting en shaker. Bij rondheid was het doel tweeledig, de huidige opstelling is aan het einde van zijn levensduur en de nieuwe faciliteit dient de continuïteit te garanderen. Tevens was het doel om voor roodheidstandaarden de onzekerheid te verlagen met een factor 2. De nieuwe faciliteit is even operationeel geweest, maar door hernieuwde problemen met onvoldoende reproduceerbaarheid van de metingen, is het einddoel nog niet gerealiseerd. Het project zal daarom in 2009 doorlopen.

Het ontwikkelingsproject automatisering heeft als algemeen doel de efficiëntie en/of onzekerheid te verbeteren door automatisering van meetopstellingen. De verbetering van de efficiëntie van hoekmeting is grotendeels gerealiseerd.

Het microCMM project met als doel het ontwikkelen van kalibratiemethodes en vaststellen van taakspecifieke onzekerheden van de microCMM is, ondanks een groot probleem met de microCMM, afgerond. Het streepmaatproject heeft als doel de realisatie van een nieuwe opstelling voor streepmaatmeting met een verlaagde onzekerheid. Het project ligt op schema: de opstelling is in opbouw. Het 'shaker' project met als doel het realiseren van een kalibratieopstelling voor zware trillingsopnemers is gerealiseerd. Ter validatie dient nog een testkalibratie te worden uitgevoerd.

Er is een aanvullend onderzoek uitgevoerd om de huidige kalibratieopstelling voor ring- en penkalibers aan te passen. Dit als corrigerende maatregel naar aanleiding van de resultaten behaald in de key comparison Euramet.L-K 4 (diameterstandaarden). Er is een nieuw ontwerp gemaakt dat de onvolkomenheden in de huidige opstelling dient te elimineren.

Het programma voor 2008 is grotendeels uitgevoerd. Vanwege een aantal onverwachte problemen zijn niet alle doelen volledig gerealiseerd. In 2009 zal prioriteit worden gegeven aan de afronding hiervan.

Thermometrie

Beheer is uitgevoerd conform werkplan.

Op ontwikkelingsgebied zijn de volgende resultaten behaald:

Het ontwerp voor een nieuwe lage temperatuur cryostaat (tot -227 °C) is gemaakt, de verschillende onderdelen zijn aangeschaft en in het Mechatronica Lab van VSL gerealiseerd.

De temperatuurversterker is opgebouwd, de cesium heatpipe is vervangen door een nieuwe met diphenyl (in plaats van het oorspronkelijk bedoelde kwik) gevulde heatpipe. Zowel de natrium als de cesium heatpipe zijn deels gekarakteriseerd.

Het ruisthermometerproject is stopgezet door gebrek aan marktpotentie en doordat door wateroverlast het systeem ernstig beschadigd is.

De studie naar het effect van isotopen op het neon vaste punt is uitgevoerd. De studie naar het effect van isotopen op het water tripelpunt is stopgezet en de aandacht is verschoven naar het effect van onzuiverheden op het watertripelpunt. Hierbij bleek een significante modificatie in de destillatieopstelling noodzakelijk. Door vacuümlekkageproblemen was de gemodificeerde opstelling eind 2008 nog niet operationeel.

Tot slot is er een ontwerp gemaakt voor een hoge druk dauwpuntgenerator geschikt voor gebruik van verschillende gassen. Diverse onderdelen zijn aangeschaft en door het Mechatronica Lab van VSL zelf geproduceerd dan wel uitbesteed.

Optica

Het basisbeheer is volgens schema uitgevoerd en er hebben zich geen problemen voorgedaan. In februari heeft er een RvA audit plaatsgevonden. Het was een bijzondere audit, omdat er een aanzienlijke uitbreiding van meetgrootheden was aangevraagd, onder andere voor lichtstroommetingen op de RAD 3D faciliteit (Radiometrie) en spectrale irradiantie metingen op de SIRF opstelling (Spectrale Irradiantie Faciliteit). De ISO 17025 audit is zeer succesvol verlopen met slechts drie kleine opmerkingen. De opmerkingen zijn inmiddels verwerkt en de RvA heeft de erkenning verleend over de ingediende scope. Aanpassingen van deze scope zijn ook geëvalueerd in de context van de CMCs (Calibration and Measurement Capabilities). Daar voor het indienen van een CMC ook 'bewijslast' langs key comparison resultaten vereist zijn, konden niet alle items op de RvA geaccrediteerde scope ingediend worden bij Euramet. Zodra de key comparison resultaten bekend zijn, worden deze ontbrekende CMC items alsnog aangemeld.

Met betrekking tot beheerontwikkeling zijn er vier projecten volledig afgerond. De resterende twee projecten, Verre veld en Automatisering, lopen door in 2009. In het algemeen kan worden geconcludeerd dat de afgeronde projecten met succes zijn afgesloten. Enkele resultaten zijn gepresenteerd op conferenties middels posters en voordrachten. Met het tot stand komen van de RAD 3D opstelling voor lichtstroommetingen aan LED-bronnen is de bruikbaarheid voor de Nederlandse industrie aangetoond. Dit blijkt onder meer uit de vele kalibratie-aanvragen voor lichtstroommetingen en efficiëntiebepalingen.

Tijd- en Frequentiestandaarden

Het basisbeheer voor tijd en frequentie omvat:

- 1) het operationeel houden van de primaire standaarden voor Tijd en Frequentie;
- 2) het operationeel houden van de opstellingen voor het vergelijken van UTC(VSL) met andere meetinstituten, d.m.v. twee-weg tijd en frequentie vergelijk (TWSTFT) en d.m.v. GNSS meetssystemen (o.a. GPS);
- 3) analyse en controle van meetdata om zonodig UTC(VSL) bij te sturen;
- 4) het operationeel houden van opstellingen waarmee kalibraties worden uitgevoerd van frequentiebronnen, frequentiemeters, stopwatches, tijdsinterval, stijgtijd en GPS ontvangers;
- 5) het operationeel houden van tijdsynchronisatie en -distributie systemen via een telefoon (0900-nummer), via internet (NTP-server) en via optisch netwerk intern binnen VSL.

Alle genoemde opstellingen zijn operationeel gehouden en kalibraties van benodigde apparatuur zijn volgens planning uitgevoerd.

Alle metingen met betrekking tot de eerste twee punten worden automatisch verricht, maar de betrouwbaarheid van zowel software als hardware liet in de afgelopen jaren te wensen over. Het

oplossen van alle storingen kostte veel tijd, dus daarom zijn, in het kader van beheerontwikkeling, diverse projecten uitgevoerd of gestart om zowel software als hardware te vernieuwen.

Een ander ontwikkelingsproject is gericht op het verbeteren van de frequentiestabiliteit van de UTC(VSL) door middel van een klokensemble. Hiermee wordt beoogd de onzekerheid in de frequentie te verlagen met een factor 2.

Alle ontwikkelingsprojecten op het gebied van tijd en frequentie verlopen op schema. Naarmate de projecten vorderen, zijn er aanzienlijk minder storingen in apparatuur en software.

Volumetrie

Dit jaar lag het accent bij basisbeheer Volumetrie op het verder optimaliseren en in kalibratiestatus brengen van diverse opstellingen, nl. de verdringingsinstallatie, de low-flow installatie, de nieuwe meetstraat, de Gas Olie Piston Prover (GOPP) en de compact prover voor minerale producten. De Gas Olie Piston Prover is een belangrijk onderdeel van de herleidbaarheidsketen van GasCal, Euroloop. Er is een duidelijke vooruitgang geboekt bij de genoemde meetopstellingen. Deze zijn volledig operationeel en de kalibratiestatus ervan is vastgelegd. De software behorende bij de nieuwe meetstraat is in de tweede helft van 2008 ontwikkeld.

Beheerontwikkeling was in de tweede helft van het jaar gepland, nl. optimaliseren van de low-flow testfaciliteit II, realisatie van de primaire standaard voor anemometrie en karakterisering van het flow meter gedrag. Deze activiteiten zijn tot een goed einde gebracht. Van het project 'Tele-calibration met diagnostiek' kan worden vermeld dat de eerste veldtests zijn uitgevoerd met flow meters uitgerust met een diagnosebox, de zogenaamde 'VSL tripwatch'.

Metrologische infrastructuur

Vergaderingen en vertegenwoordigingen:

alle relevante (inter)nationale contacten van VSL (Euramet, BIPM, etc.) zijn goed onderhouden.

Consultaties:

Er is duidelijk meer inzicht verkregen in de behoeftes van de klanten van VSL, alsmede in de (metrologische) ontwikkelingen en behoeftes die zich in de biowetenschappen voordoen. voor dit laatste is een NIST conferentie over de behoefte van de biowetenschappen in de 21^e eeuw bijgewoond.

Werkplan en rapportages:

rapportages, werkplannen en aanvullende werkplannen zijn tijdig ingediend.

Kwaliteitssysteem:

Het kwaliteitsmanagementsysteem functioneert naar behoren. De resultaten van interne en externe audits tonen echter wel verbeterpunten en dan met name t.a.v. de revisie van instructies en de uitvoering van interne audits.

Key Comparisons

Chemie

De mengsels voor CCQM-K71 (Stack gas) zijn uitgestuurd. Ongeveer de helft van de resultaten is tijdig ontvangen (november-december '08). Verder is er een aangepaste versie van het "draft B" van CCQM-K54 gemaakt. De discussie in de werkgroep bij dit vergelijk, als ook dat voor zuurstof (CCQM-K53) spitst zich toe op de berekening van de "degrees-of-equivalence".

Elektriciteit

In het werkgebied DC en LaagFrequent elektriciteit zijn 5 vergelijken in de eindrapportagefase: Hoogohmig Weerstand, 100 Ω Weerstand, Kleine Stromen, ACDC mV en AC Ratio. Er is in deze comparisons commentaar gegeven op draft A en draft B rapportages van de coördinator. Bij het Kleine Stromen vergelijk blijkt uit de draft A rapportage dat de reisstandaard tijdens de eerste serie metingen van het vergelijk instabiel was; dit betreft de metingen van VSL en NPL(UK). Besloten is dat deze NMIs hun metingen voor dit vergelijk opnieuw doen.

De metingen voor het 100 mH Inductie vergelijk zijn afgerond. VSL is gestart met het verwerken van de data van alle deelnemers en het schrijven van het draft A rapport.

Bij het LF Vermogen vergelijk is verder gewerkt aan de verwerking van de meetresultaten.

Voor het Hoogspanningsvergelijk zijn de VSL meetresultaten opgestuurd naar de coördinator en is het draft A rapport van commentaar voorzien.

Bij RF & MW (HoogFrequent elektriciteit) zijn drie vergelijken in het afrondingsstadium – draft B rapportage. Van één van deze vergelijken is VSL de coördinator; de afronding van het draft B rapport van dit vergelijk is overgedragen aan NIST(USA).

Voor het EM Velden vergelijk ('Electrical Field Strength above 1 GHz) zijn de meetresultaten van 2007 verwerkt in een rapport dat opgestuurd is naar de coördinator.

Ioniserende Straling

Van de key comparison PDE for Photon Radiation is nog geen rapport beschikbaar gekomen, dit schuift door naar 2009. De metingen voor Geabsorbeerde Dosis in Water voor ¹⁶⁰Ru- zijn uitgevoerd en de meetresultaten zijn gerapporteerd aan het pilot laboratorium.

Massa en gerelateerde grootheden

De vergelijking op het gebied van Drukmeting 20 kPa - 200 kPa is nog steeds niet van start gegaan en de key comparison op het gebied van viscositeit is wel gestart, VSL is hier pilot lab geworden en er is niet alleen gemeten bij 100 °C, maar ook bij 20 °C en 60 °C.

Lengte

Het aanvullend bilateraal vergelijk bij de key comparison betreffende Diameterstandaarden is uitgevoerd onder het aanvullende project 'Ringen en Pluggen'.

Thermometrie

De key comparison Realisatie van het Watertripelpunt, waarvan VSL pilot laboratorium was, is volledig en met prima resultaat afgerond en opgenomen in de KCDB.

Optica

In het 2^e halfjaar zijn 4 nieuwe vergelijkingen gestart, te weten Lichtstroom, Lichtsterkte LED, Lichtstroom LED en Kleurcoördinaten LED. Van alle vier zijn de VSL-metingen eind 2008 afgerond.

Tijd & Frequentie

De continu doorgaande metingen aan het tijdschaalverschil met UTC zijn uitgevoerd, met ook in 2008 een zeer goed resultaat. Daarnaast is er een belangrijk Euramet vergelijk uitgevoerd op het gebied van TweeWegTijd & Frequentiemeting. Er was iets meer spreiding in de metingen dan normaal; naar de oorzaak hiervan wordt nog gezocht.

Volumetrie

Het vergelijk Volume Water is in 2008 niet gestart. Waren van het vergelijk Volume Debiet Atmosferische Lucht in het eerste halfjaar de metingen verricht, in de 2^e helft van het jaar is de data analyse afgemaakt t.b.v. draft A. M.b.t. de key comparison Volume Debiet Aardgas bij Hoge Druk is met name voorbereidend werk verricht.

Statusoverzicht Key Comparisons

Key Comparison	KCDB-code	Pilot lab	Status	Resultaat/bijzonderheden
Chemie				
(1) Ammoniak in stikstof	CCQM-K46	VSL	Nog geen consensus over draft B	Streven om in april 2009 alles afgerond te hebben
(2) Koolmonoxide en kooldioxide in stikstof	CCQM-K51/52	NMISA/VSL	Koolstofmonoxide: draft A af	Koolstofdioxide vgl is afgerond
(3) Zuurstof	CCQM-K53	KRISS	Wachten op draft B	Discussie over statistische verwerking
(4) Hexaan in methaan	CCQM-K54	VSL	Plan: in april '09 klaar	Discussie over statistische verwerking
(5) Methaan	CCQM-K66	NMIJ	Wachten op cilinder	Verwacht jan/feb 09
(6) Stack gas	CCQM-K71	VSL	Mengsels zijn verscheept	Draft A gereed in mrt/apr 09
(7) Mercaptanen	CCQM-K65	VNIIM	Metingen zijn uitgevoerd	Draft A is beoordeeld
(8) Ozon	BIPM.QM-K1	BIPM	Probleem met opstelling	Metingen zijn wel gedaan en met goed resultaat
(9) Helium	CCQM-Pxx		Deze key gaat niet door	
Elektriciteit & Magnetisme				
DCLF				
(10) DC weerstand 100 Ω	Euramet.EM-K10	PTB	Draft B is besproken	Resultaten van VSL zijn goed
(11) DC weerstand 10 M Ω en 1 G Ω	Euramet.EM-K2	METAS	2e versie van draft A	
(12) DC kleine stromen	Euramet.EM-S24	PTB	Herhaling metingen 1e loop	
(13) Inductie 100 mH	Euramet.EM-S26	VSL, INM, PTB	Begin gemaakt met draft A	Sinds '07 is 1 (v.d. 2) reistandaard over
(14) Laagspanning (mV) AC-DC transfer	Euramet.EM-K11	SP	Draft A nog niet verschenen	
(15) LF vermogen	Euramet.EM-K51	UME	Nog geen VSL rapportage	
(16) AC-voltage ratio	CCEM-K7	NPL	Nog steeds geen rapport	
(17) Hoogspanning	Euramet.EM-S29	LCOE (Spanje)	Draft A is beschikbaar	
Hoogfrequent				
(18) RF spanning tot 1 GHz	CCEM-K4	VSL	Overgedr. aan CCEM-GTRF	
(19) S-parameters tot 18 GHz (type-N)	CCEM-K5b	NPL	Nog geen draft B ontvangen	Er is wel een CMC statement gemaakt voor VSL
(20) Stappenverzwakker bij 60 MHz en 5 GHz (type-N)	CCEM-K19	NPL	Er is nog geen def. rapport	Er is wel een CMC statement gemaakt voor VSL
(21) Veldsterkte boven 1 GHz	Euromet.EM.RF-S25	CMI	Er is nog geen draft A	
Ioniserende Straling				
(22) PDE for photon radiation	Euramet.RI(I)-S5	PTB	Rapport nog niet vrijgegeven	Opnieuw tijd gereserveerd voor '09
(23) Geabsorbeerde dosis in water voor Ru-160	Euramet.RI(I)-Kx	PTB	Nog geen eindrapp. v. pilot	Metingen meer tijd gekost
Massa en gerelateerde grootheden				
(24) Massastandaarden in delen en veelvouden v. 1 kg	Euramet.M.M-K2/CCM.M-K	SP, NPL, NMIJ	Vertraging versch. draft A	
(25) Drukmeting 5000 bar	Euramet.P.xxx	MIKES	Gecorrespondeerd	Resultaten VSL zien er heel goed uit
(26) Drukmeting 20 kPa - 200 kPa	Euramet.M.P.Kxx	METAS	Vgl. is nog niet gestart	
(27) Viscositeit 20, 60 en 100 °C	Euramet.V.K2.1	VSL	1e draft A beschikbaar	Extra uren voor extra metingen
Geometrie				
(28) Streepmaten	Euramet.L-K7	MIRS	Draft A nog niet ontvangen	
(29) Staphoogte	Euramet.L-Kx	PTB	NMI VSL heeft zich teruggetrokken	Alternatief: bilateraal vergelijk, als alles op orde is
(30) 2D-CMM artefacts (bollenplaat)	Euramet.L-K6	PTB	Def. rapport uitgesteld tot '09	
(31) Diameterstandaarden (ring, pen, kogel)	Euramet.L-K4.2005	IMGC, OMH	Draft B nog niet beschikbaar	
(32) 1D-CMM artefacts (stappeneindmaat)	Euramet.L-K5.2005	CEM	Discussie ontstaan	
(33) Referentiekogels	Euramet.L-Kx	VSL	Voorstel voor vgl. gedaan	
Thermometrie				
(34) Dauwpunts hygrometers (-50 °C tot +20 °C)	Euramet.T-K6	MIKES	Draft B is goedgekeurd	
(35) Dauwpunts hygrometers (-50 °C tot +20 °C)	CCT-K6	NPL	Alle metingen zijn gedaan	
(36) Dauwpunts hygrometers (+20 °C tot +85 °C)	Euramet.T-K6 vervolg	PTB	Protocol is vastgesteld	
(37) Realisatie van het watertripelpunt	Euramet.T-K7	VSL	KC is af & zit in KCDB	Uitstekende resultaten voor VSL
(38) Cu vaste punt (1084.62 °C)	Aanvraag in voorbereiding	VSL	Metingen zijn uitgevoerd	
(39) ITS-90 realisatie van 2.4 K tot 24.5561K	Euramet.T-K1	PTB	Geen activiteiten	
(40) ITS-90 realisatie van 13.8 K tot 273.16 K	CCT-K2.3	NRC	Draft A is beschikbaar	
Optica				
(41) Spectrale irradiantie 250 nm - 2500 nm	Euramet.PR-K1.a	NPL	Geen activiteiten	
(42) Lichtsterkte 380 nm - 780 nm	Euramet.PR-K3.a	PTB	Metingen zijn gedaan	
(43) Lichtstroom	Euramet.CCPR.K4	PTB	Metingen zijn gedaan	
(44) Lichtsterkte LED	APMP.PR-S3a	KRISS	Metingen zijn gedaan	
(45) Lichtstroom LED	APMP.PR-S3b	KRISS	Metingen zijn gedaan	
(46) Kleurcoördinaten LED	APMP.PR-S3c	KRISS	Metingen zijn gedaan	
Tijd				
(47) Continu UTC vergelijk	CCTF-K2001.UTC	BIPM	Doorlopend vergelijk	Maandelijks gerapporteerd aan BIPM
(48) TWSTFT Euramet looptijd verificatie	Eurametnr. nog onbekend	TUG	Metingen gedaan, rapp. ontvangen	Oorzaak spreiding in metingen wordt onderzocht
Stroming				
Lage druk				
(49) Low velocity anemometry	CCM.FF-K3	VSL	Alleen overleg gevoerd	
(50) Low flow air and nitrogen	CCM.FF-K6	NEL, EIM, NIST	Alleen overleg gevoerd	
Vloeistof				
(51) Volume water	CCM.FF-K1	NEL	Vgl. is nog niet gestart	
(52) Volume debiet atmosferische lucht	Euramet.FF-Kx	CMI	Alle labs zijn klaar met meten	
(53) Volume debiet aardgas bij hoge druk	CCM.FF-K5	PTB	Protocol omschreven	